

Д. Р. Коломеец^{*}, С. Н. Петров, А. А. Зисман

НИИ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей», г. Санкт-Петербург

^{*}*npk3@crism.com*

ЭКСПРЕСС-МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ БЫВШИХ АУСТЕНИТНЫХ ЗЕРЕН В БЕЙНИТНЫХ И МАРТЕНСИТНЫХ СТРУКТУРАХ ПО ОРИЕНТАЦИОННЫМ ДАННЫМ EBSD

В настоящей работе предложен упрощенный экспресс-метод восстановления бывших зерен аустенита, основанный на использовании стандартных опций EBSD микроскопа и определенного ориентационного соотношения. Метод был опробован на сталях с мартенситной и бейнитной структурой и позволил восстановить до 90 % границ зерен исходной высокотемпературной фазы, что говорит о его работоспособности.

Ключевые слова: стали, фазовые превращения, ориентационное соотношение, EBSD, аустенит, мартенсит, бейнит.

D. R. Kolomoets, S. N. Petrov, A. A. Zisman

FAST RECONSTRUCTION OF PRIOR AUSTENITE GRAINS IN BAINITIC AND MARTENSITIC STRUCTURES IN TERM OF EBSD ORIENTATION DATA

In present work we proposed a method to reconstruct prior austenite grains in high strength steels, making use of standard functions of EBSD microscope and the known orientation relationship. When tested on bainitic and martensitic steels, the method enables restoration of up to 90% of prior austenite grain boundaries.

Keywords: steels, phase transformation, orientation relationship, EBSD, austenite, martensite, bainite.

Выявление бывших зерен аустенита в бейнитных и мартенситных структурах является актуальной проблемой, так как конечная (превращенная) структура и связанные с ней свойства существенно зависят от структуры высокотемпературной фазы перед ее полиморфным превращением при охлаждении [1, 2]. Традиционными методами восстановления бывших зерен остаются химическое и электрохимическое травление [3, 4], которые весьма длительны, трудоемки, а также имеют серьезные ограничения из-за токсичности применяемых реактивов. Кроме

того, для решения проблемы используют известные ориентационные соотношения (ОС) между исходной и новой фазой. Каждое ОС предполагает определенную совокупность возможных ориентировок кристаллов новой фазы в пределах общего исходного зерна [5]. Данный подход основан на сложных алгоритмах и расходует значительные вычислительные ресурсы, т. к. учитывает ориентировки во всех точках EBSD сканирования.

В настоящей работе предлагается упрощенный экспресс-метод, не требующий отдельных громоздких вычислений, а использующий стандартные опции программного обеспечения EBSD для восстановления значительной доли (40–60%) границ между бывшими зернами. Они распознаются по характерному угловому интервалу, не содержащему межвариантных разориентировок ОС. Подход иллюстрируется на рис. 1, где показан спектр случайного распределения разориентировок на межзеренных границах аустенита и характеристические межвариантные разориентировки (варианты V_i , $i = 2, 3 \dots 24$, сравниваются с V_1). Величины углов для вариантов $V_2 \dots V_{24}$ соответствуют экспериментальному ориентационному соотношению [6].

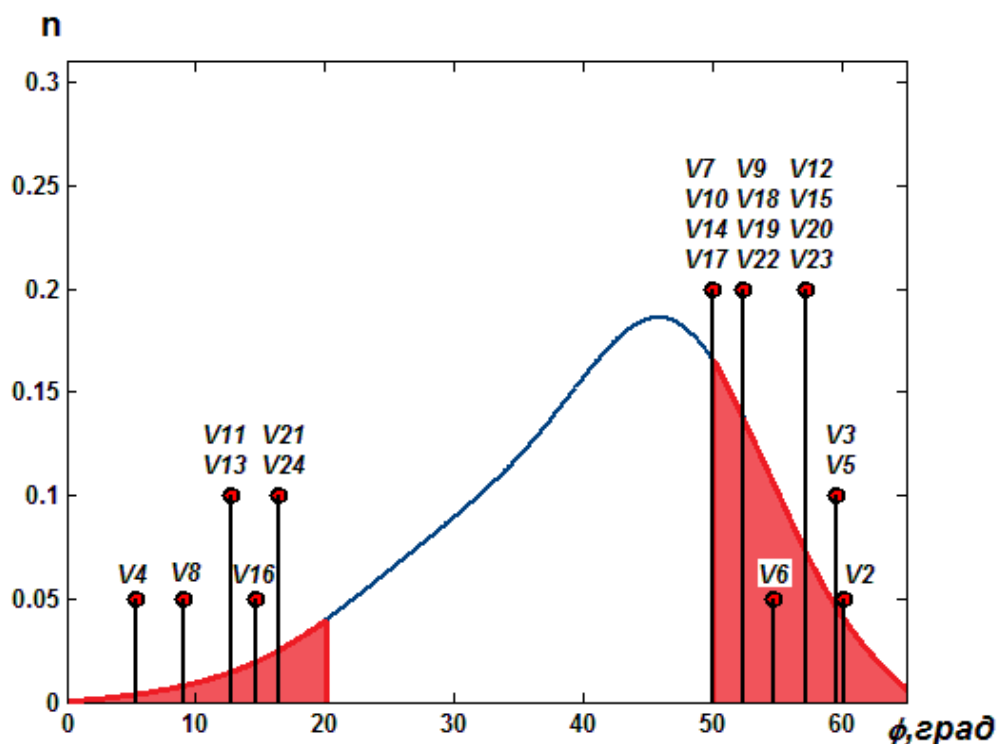


Рис. 1. Спектр кристаллографических разориентировок [6] в α -фазе между произвольно выбранным первым вариантом V_1 и остальными вариантами V_i , построенный в предположении их равной вероятности в исходном кристалле γ -фазы. Синяя линия показывает распределение ориентировок γ -фазы

Для достройки выделенных на первом этапе аустенитных границ, один за другим анализируются примыкающие к ним сегменты границ в превращенной структуре. Из каждой пары для достройки (рис. 2) выбирается сегмент, разориентировка на котором максимально отклоняется от ближайшей межвариантной:

$$M = \begin{cases} R_i^{oc} R_{S_j}^{-1} \\ R_i^{oc} R_{S_k}^{-1} \end{cases} \rightarrow \theta_{\max},$$

где R_i^{oc} – межвариантные матрицы поворота, R_{S_j}, R_{S_k} – матрицы относительного поворота на S_j, S_k сегментах, θ_{\max} – максимальное угловое отклонение.

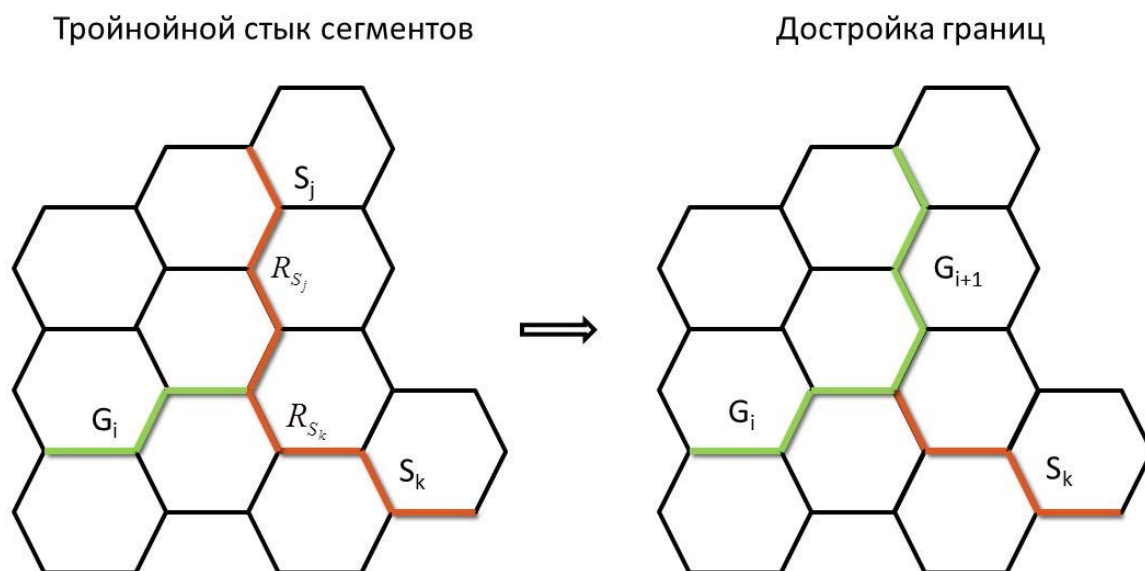


Рис. 2. Схематичное изображение достройки границ зерен аустенита (зеленые линии) из сегментов блочной структуры (оранжевые линии)

Таким образом, с помощью несложных вычислений удастся отобразить бывшие зерна аустенита одновременно с возникшими в них блоками мартенсита или бейнита. Границы, выявленные в низкоуглеродистой мартенситной стали после закалки, хорошо согласуются как с особенностями пакетно-блочной структуры мартенсита, так и с характерной морфологией бывших границ полиэдрических зерен.

Работа выполнена на оборудовании Центра коллективного пользования НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей»

при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки в рамках соглашения № 14.595.21.0004.

ЛИТЕРАТУРА

1. Leinonen J. I. Superior Properties of Ultra-fine-grained Steel / J. I. Leinonen // Acta Politechnica. 2004. № 44. P. 37–40.
2. Grain refinement in Steels and the Application Trials in China / H. Dong [et al.] // ISIJ Int. 2008. Vol. 48. P. 1126–1132.
3. Metallographic technique for the determination of the austenite grain size in medium – carbon microalloyed steels / A. C. Garci'a [et al.] // Mater. Char. 2001. № 46. P. 389–398.
4. Revealing austenite grain boundaries by thermal etching: advantages and disadvantages / A. C. Garci'a [et al.] // Mater. Char. 2003. V. 49. P. 121–127.
5. EBSD and reconstruction of pre-transformation microstructures, examples and complexities in steels / M. Abbasi [et al.] // Mater. Char. 2001. № 46. P. 389–398.
6. Влияние размера зерна и деформационной субструктуры аустенита на кристаллогеометрические особенности бейнита и мартенсита низкоуглеродистых сталей / Н. Ю. Золоторевский [и др.] // МиТОМ. 2013. № 10. P. 39–48.